Evaluación de la Influencia de la Soldadura en la Velocidad de Corrosión del Aluminio UNS A5083 de uso Naval, mediante Ensayos de Corrosión Acelerada

Diana María Chauvin Alvear (1), Julián Peña Estrella (2)

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar (1)

Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (2)

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral, Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador

dchauvin@espol.edu.ec (1), jpena@espol.edu.ec (2)

Resumen

Esta tesis de grado tiene como objetivo analizar y evaluar las propiedades corrosivas de los cascos de las embarcaciones navales de aluminio UNS A5086 y UNS A5083 construidas en astilleros ecuatorianos. En este caso, se ha decidido evaluar la interacción entre el metal, su junta soldada y la zona afectada por el calor. En el Capítulo I, se describirá técnicamente al material y se desarrollarán los conceptos teóricos fundamentales para comprender integralmente el estudio propuesto. Tanto la preparación de los cuerpos de prueba de cada zona del Sistema, como los ensayos potenciodinámicos se detallará en el Capítulo II. En el Capítulo III, se expondrán los resultados obtenidos en el ensayo experimental, mientras que teóricamente, se plantearán conceptos termodinámicos y cinéticos que permitirán predecir cuándo ocurrirá una reacción corrosiva en el metal y cuánto durará esta reacción. Finalmente, se formularán las debidas conclusiones y recomendaciones que sean aplicables en la Construcción Naval.

Palabras Claves: *Embarcaciones navales; Aluminio 5083; Corrosión; Ambiente marino; Celda electroquímica; Ensayo Potenciodinámico; Electrodo Ag/AgCl; junta soldada; ZAC; mpy.*

Abstract

This thesis analyses and evaluates the corrosive properties of the hulls of marine vessels built with UNS A5086 and UNS A5083 aluminum alloys in Ecuadorian shipyards. In this case, it has been decided to evaluate the metal-welded joint-HAZ interaction. In Chapter I, the material is described technically and the fundamental theoretical concepts are developed in order to understand fully the proposed study. Both the preparation of test bodies in each area of the system, such as potentiodynamic tests will be detailed in Chapter II. In Chapter III, the results obtained in the experimental trial will be presented, while theoretically, thermodynamic and kinetic concepts will be exposed in order to predict when a corrosive reaction will occur and how will last. Finally, Shipbuilding related conclusions and recommendations will be formulated.

Keywords: *Naval vessels; Aluminum 5083; Corrosion, Marine environments; Electrochemical cell; Potentiodynamic test; electrode Ag/AgCl; welded joint; HAZ; mpy.*

1. Introducción

El año 1987 representa el umbral del uso del aluminio en la construcción naval ecuatoriana. Tiene lugar en el Arsenal Naval, hoy conocido como ASTINAVE, en donde se construyeron cuatro Lanchas Guardacostas, distinguidas como Lanchas UTB. En la actualidad la construcción continúa, habiendo cerrado el año 2010 con cuatro lanchas rápidas de patrullaje de aluminio para la Corporación Aduanera Ecuatoriana.

Como resultado del proceso constructivo en el que se emplea soldadura, en la estructura de las embarcaciones se distinguen tres zonas: el metal, la junta soldada, y la zona afectada por el calor. Las propiedades mecánicas, entre ellas la resistencia a la corrosión, de las tres zonas presentan diferencias que podrían ser significativas.

Las pruebas de Resistencia a la Corrosión, representan la plataforma para la evaluar y controlar este fenómeno natural que está presente en muchas aplicaciones de la ingeniería.

Un factor primordial para evaluar y controlar los fenómenos corrosivos es la determinación de la velocidad con que se corroen los metales, por lo tanto, el presente trabajo se enfoca en evaluar y determinar la velocidad de corrosión de la aleación de Aluminio UNS A5083, empleado en la Industria Naval para construir los cascos de embarcaciones, mediante pruebas de laboratorio que permitirán predecir el comportamiento real de esta aleación en agua salada artificial.

Adicionalmente, este trabajo pretende servir como guía en el uso correcto y calibración del Potenciostato PAR 362 y el módulo de adquisición de datos DAQ National Instruments USB-6211 en la realización de experimentos potenciodinámicos con celdas electroquímicas.

2. Propiedades de las aleaciones de aluminio UNS A5083

Las aleaciones de uso naval son las que pertenecen al grupo 50XX. Su segundo componente más abundante es el Magnesio y son trabajadas en frío (no son termotratables). Son las que presentan la mejor combinación de resistencia estructural, resistencia a la corrosión y soldabilidad entre los tipos de aleación no termotratables.

Tabla 1. Composición química de la aleación pura de aluminio 5083.

Tabla 2. Propiedades Físicas de la Aleación de Aluminio 5083

La TALAT, en el año 1994, publicó una comparación de las propiedades mecánicas de las aleaciones de aluminio.[1] En la Figura 1, se muestra la Resistencia a la corrosión – Resistencia a la fatiga como la más relevante para este trabajo. La resistencia a la corrosión es la capacidad de un metal para resistir ataques de otros metales más nobles y de compuestos químicos. La corrosión en sí, es un fenómeno electroquímico que ocurre espontáneamente en la naturaleza.

Figura 1. Comparación de la resistencia a la corrosión entre aleaciones de aluminio

3. Variaciones en la zona afectada por el calor y la junta soldada

La Zona Afectada por el Calor es una fracción del metal base que no ha sido fundida, pero cuyas propiedades mecánicas han sido alteradas por el calor de la soldadura.

Figura 2. Esquema de unión soldada

Las aleaciones trabajadas en frío son afectadas por el calor de la soldadura. La resistencia en la unión es reducida a la del estado recocido, la reducción depende del proceso de soladura que se siga.[2]

4. Comportamiento Corrosivo del Aluminio de Uso Naval

El aluminio de uso naval en estudio, el AA5083, encuentra su aplicación más común el lanchaje de cascos y las superestructuras.

De los distintos tipos de corrosión existentes, la que más debe preocuparnos en esta aplicación es la Corrosión por Picadura.

4.1 Corrosión del Aluminio en Junta Soldada

Se debe diseñar la soldadura para que la relación para que el Cordón actúe siempre como cátodo y el Metal Base como ánodo. Esto se representa en la figura 3.

Figura 3.- Esquema relación de corrosión

5. Descripción del experimento

El experimento consiste en determinar la velocidad de Corrosión del Aluminio UNS A5083 mediante la obtención de su Curva de Polarización mediante un escaneo potenciodinámico al metal como electrodo de trabajo de una celda electroquímica.

5.1. Materiales, Equipo y metodología

El material en estudio es la aleación de Aluminio de uso naval Al5083. Se ha empleado material del mismo lote para efectuar estos ensayos, es decir, una plancha de 12 mm de espesor y con dimensiones 6000 x 1500 mm.

La plancha fue soldada con un procedimiento MIG.

Figura 4.- Fotografía del último pase

Las probetas fueron cortadas para luego ser mecanizadas en el torno hasta obtener probetas cilíndricas con un área de 1cm2, posteriormente fueron pulidas y limpiadas.

Figura 5. Zonificación de protesta

Figura 6. Probetas cortadas y torneadas

El electrodo de Ag/AgCl fue usado como electrodo de referencia. Se usaron dos contra-electrodos de acero inoxidables para completar la media celda. Una solución de agua salada artifical (NaCl al 3.5% + agua deionizada) fue utilizada como electrolito.

Los equipos a utilizados fueron:

- Potenciostato de escaneo Modelo 362 de Princestone Applied Research (PAR).
- Módulo de adquisición de datos (DAQ) USB-6211 de National Instruments (NI).
- Un computador personal corriendo Windows XP 32 bits y el software LabVIEW 8.6 de NI.

Figura 7. Diagrama de conexión

Las técnicas electroquímicas empleadas están basadas en la Norma ASTM G5–94 "Método estándar de referencia para mediciones potenciostáticas y potenciodinámicas de polarización directa", en donde se establece que las muestras deben reposar hasta alcanzar estabilidad al menos durante 50 minutos, y la Norma ASTM G 102–89 "Práctica estándar para el cálculo de tasas de corrosión e información relacionada con mediciones electroquímicas".

5.2. Ensayo Cinético de Corrosión del Sistema

Establecimos en la celda un potencial inicial de -1000mV del Potencial de circuito abierto (Eoc) durante 50 minutos, luego de los cuales iniciamos un barrido de voltaje en un rango1 de -800mV a 800mV del Potencial de circuito abierto con un paso de 1mV/seg, lo que nos da un tiempo total de barrido de 1600 segundos.

Figura 8. Ilustración celda electroquímica

El potencial de polarización se aplica a la celda a través de los contraelectrodos. El voltímetro lee la potencial del electrodo de trabajo respecto2 al electrodo de referencia y el amperímetro lee la corriente (flujo de electrones) que pasa por el electrodo de trabajo.

Una corriente negativa implica que el material está recibiendo electronos y por lo tanto es más catódico respecto al electrodo de referencia. Por el contrario, con corriente positiva, el material cede electrones y por lo tanto es anódico.

En el momento en que el metal cede electrones, un átomo metálico migra al electrolito como ión metálico, dejando un espacio físico vacío en la superficie del metal, lo cual no es más que un deterioro del mismo, reorganizando eléctricamente la interfase, haciendo que su potencial se haga más negativo.

5.3. Curvas de respuesta a polarización

Los valores obtenidos se grafican en una curva “Potencial de polarización vs. Densidad de corriente”. El eje de la densidad de corriente suele ser logarítmico de base 10.

El cálculo de la Velocidad de Corrosión por el método de las pendientes de Tafel, se basa en la extrapolación de la Zona Lineal en un diagrama experimental Potencial vs. Logaritmo de Corriente.

Este método está basado en las Normas ASTM G3-89; ASTM G5-94; ASTM G59-97; ASTM G102-89.

En total se hicieron 3 experimentos por cada una de las zonas, que son la aleación de aluminio pura, ZAC, junta soldada. Aquí mostramos solo una de cada una.

Las gráficas de las Curvas de Polarización se muestran a continuación:

Figura 9. Aleación pura

Datos del ensayo

Rango Barrido: (-1.3 V, +0.2V)

Tasa de Escaneo: 1mV/seg

Corriente estable: -0.22mA

Temperatura: 30°C

Tiempo de Barrido: 1500 segundos

Fecha: 23 de Diciembre de 2010 11:17 am

Figura 10. Zona afectada por el calor

Datos del ensayo

Rango Barrido: (-1.6 V, +0.2V)

Tasa de Escaneo: 1 mV/seg

Corriente estable: -0.28 mA

Temperatura: 30°C

Tiempo de Barrido: 1500 segundos.

Fecha: 21 de Enero de 2011 17:50 pm

1El rango de potencial de barrido depende del material y las condiciones propias del experimento.

2En algunos textos se pueden encontrar como versus (vs.)

Figura 11. Junta Soldada

Datos del ensayo

Rango Barrido: (-1.2 V, +0.2V)

Tasa de Escaneo: 1 mV/seg

Corriente estable: -0.71 en 100µA

Temperatura: 32°C

Tiempo de Barrido: 1500 segundos.

Fecha: 22 de Enero de 2011 Hora: 10:03

6. Evaluación de los resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos en el proceso experimental, se han utilizado las siguientes técnicas para realizar la correspondiente evaluación de los resultados: la Técnica de Extrapolación de las Pendientes de Tafel y el Método de la Resistencia a la Polarización Lineal. Estas técnicas nos servirán para estimar la vida útil de cada una de las zonas.

6.1 Pendientes de Tafel

Las Pendientes de Tafel han sido obtenidas de las curvas Potencial vs. Logaritmo de la Corriente. A continuación se muestran las gráficas obtenidas para cada sistema evaluado.

Figura 12. Curva de resultado con la técnica de las Pendientes de Tafel a una probeta de Metal base

Tabla 3. Valores obtenidos de la extrapolación de las rectas de Tafel de una probeta de Metal base.

log icorr

-1,4789

icorr (mA/cm2)

0,0332

Ecorr (V)

-0,811

Se obtuvieron curvas y datos similares en las 8 probetas restantes.

6.2 Técnica de la Resistencia a la Polarización Lineal

Se ha aplicado un Sobrepotencial de 20 mV sobre y bajo el Potencial de Corrosión Ecorr. El valor de B se ha calculado con la ecuación:

Este rango asegura que la relación entre voltaje de interfase y corriente de interfase sea lineal.

Figura 13. Curva de resultado con la técnica Rpl a una probeta de Metal base

Donde, la Resistencia a la Polarización, Rp es:

Rp= .E/.i

Rp = 0,0251

V/mA/cm2

Rp=

25,1

Ohm/cm2

ba = 0,045

bc = -0,576

B= 0,8444 mV

icorr = 0,034 mA

E corr = -0,827 V

Se obtuvieron curvas similares en las 8 probetas restantes, que junto a los que se obtuvieron con la técnica de las pendientes de Tafel se sintetizaron en la Tabla 4 con valores promedios.

Tabla 4. Resultados obtenidos para icorr

6.3. Estimación de la Vida Útil de cada una de las Zonas del Sistema Evaluado

La ecuación define la velocidad de corrosión.

icorrEWCR*

*129.0.

Según las Tablas V y XIII, el Aluminio UNS-A5083 tiene una densidad de 2.66x103 Kg/m3 y un

Peso Equivalente, EW, de 9,09.

La velocidad de corrosión CR, representa la velocidad de corrosión que ha sufrido un material en unidad de masa con respecto a su superficie en el tiempo.

Tabla 5. Valores de velocidad de corrosión

7. Conclusiones

De las tres zonas analizadas, la zona del Metal Base presenta una velocidad de corrosión más alta que otras dos zonas. La relación cátodo sobre ánodo, C/A, es menor que la unidad, esto garantiza que esta zona actúe como ánodo, y las otras dos como cátodo.

Mientras mayor es el tiempo de estabilización del metal en la celda de trabajo, mejores resultados se obtienen; sin embargo, es notorio que la zona pasiva y transpasiva está plenamente definida, independientemente del tiempo de estabilización.

Se comprueba que el método de la Curva de Polarización Potenciodinámica, es válido para obtener la icorr de un metal y obtener información sobre su comportamiento pasivo y transpasivo.

La Técnica de la Resistencia a la Polarización Lineal resulta útil y fácil de emplear para determinar a icorr del metal y por tanto obtener rápidamente su velocidad de corrosión.

La técnica de la Pendiente de Tafel y la técnica de la Resistencia a la Polarización Lineal, guardan una correlación muy buena, pues los resultados obtenidos con ambas técnicas mantienen un error promedio del 2%.

La corrosión es un fenómeno irreversible, y el ensayo de corrosión acelerada es una técnica destructiva que requiere una probeta para cada curva que se desee obtener.

8. Referencias

[1] TALAT – 5101 – 5102 – 5105 (1994). “Surface

Characteristics of Aluminium and Aluminium Alloys”.

[2] TALAT – 4202 (1994). “Design Aspects”, p. 5

[3] DENNY A. JONES. “Principles and Prevention of Corrosion”, 1992.

[4] T. HOWARD ROGERS. “The Marine Corrosion Handbook”. McGraw-Hill. Canadá. Pp. 3-41,

1992, 1960.

[5] J.R.GALVELE, G.S. DUFFÓ. Degradación de Materiales de Corrosión. Editado por Instituto Sábato, p.19:22, 2006.

[6] ENRIQUE VERA LÓPEZ. Uso de Métodos Electroquímicos como Herramientas para Evaluar Parámetros de Interfase en Sistemas Heterogéneos Metal/Medio Acuoso. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

[7] MAITE BAILE. Estudio de Corrosion del Aluminio. Capítulo 8.

[8] TALAT – 5103 (1994) . “Corrosion Control of Aluminium - Forms of Corrosion and Prevention”, p.12, 2005.

[9] J.R.GALVELE, G.S. DUFFÓ. Degradación de Materiales de Corrosión. Editado por Instituto

Sábato, Capítulo 6, 2006.

Ing. Julián Peña Estrella
DIRECTOR DE TESIS DE GRADO